

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
F16C 17/02 (2006.01)



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200510083551.X

[43] 公开日 2006年1月11日

[11] 公开号 CN 1719049A

[22] 申请日 2005.7.11

[21] 申请号 200510083551.X

[30] 优先权

[32] 2004.7.9 [33] JP [31] 2004-203942

[71] 申请人 松下电器产业株式会社

地址 日本大阪府

[72] 发明人 浜田力 浅田隆文

[74] 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司
代理人 汪惠民

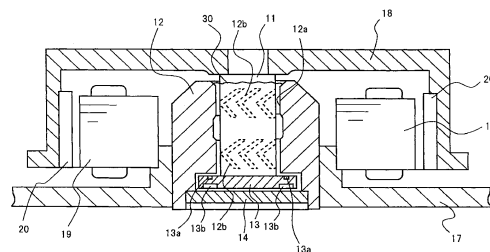
权利要求书 1 页 说明书 14 页 附图 9 页

[54] 发明名称

动压流体轴承装置

[57] 摘要

一种动压流体轴承装置，将添加在铁类的易切削钢、铁素体类不锈钢的易切削钢等中的易切削元素及易切削合金的粒子细小化为 $0.1 \sim 0.5 \mu\text{m}$ 左右。由此，尤其能够使位于易切削钢的套筒的轴承孔的内周面的易切削合金的硫化锰的结晶变小，并使套筒的内周面光滑。另外，通过将易切削钢的含碳量设为 0.1% 以下，可降低原材料的硬度，从而延长动压产生槽的加工工具的寿命。因此，可防止在作为套筒的原材料而使用切削性好的铁素体类不锈钢的易切削钢等时，由于易切削元素的结晶大而导致平面性变差的情况。另外，还能抑制易切削元素的结晶在使用中脱落。



1. 一种动压流体轴承装置，具有套筒及能够相对旋转地插入在所述
5 套筒的轴承孔中的轴，并在所述轴的外周面或所述套筒的内周面的至少一个上设置有具有动压产生槽的径向轴承面，在所述轴和所述套筒的轴承孔之间填充了作为工作流体的润滑剂，其特征在于：

所述套筒由下述材料制成：从铁类的易切削钢、铁素体类不锈钢的易切削钢及马氏体类不锈钢的易切削钢中选择的至少 1 种材料，在所述各易
10 切削钢中所含有的易切削元素和含有易切削元素的合金的各结晶的所述套筒的轴承孔的轴方向上的尺寸（长度）为不到 0.03mm、且与所述轴方向垂直的方向上的尺寸（宽度）为不到 0.005mm。

2. 一种动压流体轴承装置，具有套筒及能够相对旋转地插入在所述
15 套筒的轴承孔中的轴，并在所述轴的外周面或所述套筒的内周面的至少一个上设置有具有动压产生槽的径向轴承面，在所述轴和所述套筒的轴承孔之间填充了工作流体，其特征在于，

所述套筒由下述材料制成：从铁类的易切削钢、铁素体类不锈钢的易切削钢及马氏体类不锈钢的易切削钢中选择的至少 1 种材料，所述各易切削钢的含碳量的重量百分比分别不到 0.1%，且由这些材料成形的原材料的
20 硬度的维氏硬度 Hv 不到 230；在所述套筒的轴承孔中具有用塑性加工法形成的动压产生槽。

动压流体轴承装置

5

技术领域

本发明涉及利用流体的动压的动压流体轴承装置。

背景技术

10 近年来，使用了磁盘等旋转的记录媒体的记录装置，在其存储容量增加的同时，数据的传送速度也在高速化。为此，对这种记录装置上使用的光盘等的轴承装置就要求高速并高精度地旋转。为此，作为轴承装置使用了动压流体轴承装置（例如参照专利文献1）。

下面，参照图8到图12，对以往的动压流体轴承装置进行说明。

15 图8是表示包含动压流体轴承装置的主轴电动机的典型的以往例的剖面图。在中央部，图示有动压流体轴承装置，在两端部图示有主轴电动机部。在图8中，轴111可旋转地插在套筒112的轴承孔112a中。轴111具有在图8中的下端部一体地构成的凸缘113。凸缘113被收容在安装于底座117上的套筒112的阶梯部中，与推力板114相对向并能够旋转。在轴
20 111上安装有固定了旋转磁铁120的旋转轮毂118。在底座117上安装有与旋转磁铁120对向的电动机定子119。在套筒112的轴承孔112a的内周面上设置有在本领域所熟知的箭尾形状（Herringbone Pattern）的2组动压产生槽112b。在凸缘113的与套筒112的阶梯部对向的面上设置有同样所熟知的动压产生槽113a，在凸缘113的、与推力板114对向的面上设置有
25 动压产生槽113b。在包含动压产生槽112b、113a、113b的、轴111及凸缘113和套筒112之间的间隙中填充有油130。

下面，对具有上述结构的以往的动压流体轴承装置的工作进行以下的说明。

30 在图8中，如果给电动机定子119通电，则产生旋转磁场，且旋转磁铁120、旋转轮毂118、轴111和凸缘113开始向规定的方向旋转。此时，

由动压产生槽 112b、113a、113b 向油 130 产生泵吸压力，且轴 111 及凸缘 113 上浮，以非接触状态在推力板 114 及轴承孔 112a 的内周面旋转。

轴 111 通过填满到套筒 112 的轴承孔 112a 内的油 130 润滑而旋转。一般来说，油的粘度，如图 9 所示，如果温度降低，则以指数方式增加。

5 轴 111 旋转时受到的旋转阻力与油的粘度成正比，因此，在低温下轴 111 的旋转阻力增加，损失力矩增加，电动机的消耗电力增加。相反，在高温下，油的粘度降低，旋转阻力减少，但是与油的粘度成正比的动压流体轴承装置的轴承刚性降低，轴振动（轴 111 在旋转过程中在轴承孔 112a 中摇动的现象）增加。由套筒 112 的轴承孔 112a 的半径与轴 111 的半径的差所定义的“半径间隙”，在理论上与轴承刚性的 3 次方成反比，并且与损失力矩成反比。轴承孔 112a 和轴 111 的半径间隙，由于在低温下会降低随着油粘度的增加的损失力矩的增加，因此希望加大半径间隙。另外，由于在高温下会降低随着油粘度的降低的轴承刚性的降低，因此希望缩小半径间隙。为了满足这样的条件，从线膨胀系数的观点出发，最好这样选择套筒
10 112 和轴 111 的各材料。即，套筒 112 尽量用线膨胀系数小的材料做成，轴 111 尽量用线膨胀系数大的材料做成。

具体举例来说，作为具有适合于套筒 112 的线膨胀系数的一般的工业材料，有铁和其合金、铁素体类不锈钢、及马氏体类不锈钢，线膨胀系数在 $10 \times 10^{-6} \sim 12 \times 10^{-6}$ 的范围内。另外，作为适合于轴 111 的材料，有奥氏体不锈钢，线膨胀系数大约为 17×10^{-6} 。作为所述套筒 112 的材料所列举的 3 种材料，任何一个都是切削性极差的材料，因此，一般使用添加了各种易切削元素或其合金的所谓的铁类的易切削钢、铁素体类不锈钢的易切削钢或马氏体类不锈钢的易切削钢。作为易切削元素，有铅、硫磺、碲、
20 碲等，作为易切削的合金，有硫化锰等。一般的易切削钢是为了最大限度地改善切削性而在成为基体的铁或铁素体类不锈钢、马氏体类不锈钢中尽量多添加这些易切削元素或合金使含量增加，且使易切削元素或其合金的结晶的大小尽可能大地制造。

在用这些易切削钢制造套筒 112 时，首先将易切削的原材料经冷轧轧制为具有比套筒 112 的最大外径大稍许的直径的圆棒。其次，将该圆棒用
30 车床进行切削加工而制作套筒 112。动压产生槽 112b 是在车床加工后通过

另外的工序形成。

【专利文献 1】特开 H05-312212 号公报

在如上所述地制造的以往的动压流体轴承装置中，存在以下的问题。

第 1 个问题是在由车床加工切削的轴承孔 112a（此时还未加工动压产生槽）的表面出现易切削元素或其合金的结晶。

图 10 是由在日本工业标准协会（JIS）中标准化的相当于 SUM24 的低碳钢类易切削钢的原材料制造了套筒 112 时的轴承孔 112a 的表面的放大照片。该照片是将表面用大约 250 倍的数字显微镜放大的照片。图 10 中的左右方向为轴承孔 112a 的轴方向，箭头 145 的方向为加工轴承孔 112a 时的套筒 112 的旋转方向。

在左右方向上较长地延伸的颜色稍重的区域 132、133、134、135 表示易切削元素硫磺和锰以所谓的硫化锰的合金的形态析出在表面的部分。区域 132~135 在轴方向（左右方向）上的长度为 0.07~0.15mm，在与轴垂直的方向（箭头 145）上的长度为 0.01mm 左右。区域 132~135 的形状为左右细长的原因是在将原材料如上所述地冷轧轧制为圆棒形状时，硫化锰的结晶也被拉伸。硫化锰的结晶的大小与轴 111 和轴承孔 112a 之间的半径间隙的尺寸 0.002~0.003mm 相比极大。易切削钢的特征是一般易切削合金的金属结晶较大，金属结晶越大越提高易切削性。在硫化锰的结晶析出的区域 132~135 中，存在轴承孔 112a（图 8）的表面粗糙度增加、在作为动压流体轴承而组装后硫化锰的结晶脱落、旋转时烧熔在轴承孔 112a 的内面上而陷入不能旋转的危险。

在图 10 中，轴承孔 112a 的面是由通过车床的箭头 145 的方向的刀具（省略图示）加工而成。刀具（cutting tool）对作为基体材料的低碳钢的区域 137 和作为易切削合金的硫化锰结晶的区域 132 交替切削。低碳钢与硫化锰结晶相比，强度和韧性高。即，硫化锰结晶与低碳钢相比，强度低且发脆。从而，如果用刀具切削加工低碳钢的区域 137，则在用刀具切削加工后，产生例如 140 所示的上下方向上连续的切削痕，但是在硫化锰结晶的区域 132 中，几乎不产生切削痕而成为断裂面。因而，刀具的切削阻力在低碳钢的区域 137 中较大，而在硫化锰结晶的区域 132~135 中较小。其结果，刀具振动而且低碳钢的区域 137 表面的粗糙度也增大。

图 11 是在作为套筒 112 的材料而使用 SUM24 并将套筒 112 的轴承孔 112a 用车床加工时的表面粗糙度的测定例。图 11 的横轴表示轴承孔 112a 的轴方向（2 个箭头间为 0.1mm），纵轴表示显示粗糙度的凹凸的大小（2 个箭头间为 0.0002mm）。图 11 表示的是使用テーラーホブソン公司制的
5 ホームタリサーフ 2 型测定器进行测定的结果。

一般来说，轴 111 和轴承孔 112a 之间的半径间隙为 0.002~0.003mm。如果欲保持在将粗糙度设为零时的轴承刚性、和在考虑了粗糙度时的轴承刚性相同，则半径间隙将成为具有凹凸的表面的平均位置和轴 111 的外周之间的间隙。在图 11 的情况下，凹凸的最大幅度是 0.001 左右。轴承孔
10 112a 和轴 111 之间的实质上最小的半径间隙是只小了凹凸的最大幅度 0.001mm 的 1/2 的 0.0015~0.0025mm。在这种状态下，轴 111 和轴承孔 112a 在凹凸的峰部接触，从而烧熔的可能性极高。以往的套筒 112 的轴承孔 112a 在车床上加工后，为了减小粗糙度（凹凸），而需要进行研磨等后期加工或后期处理，因而，存在成本变高的问题。

因硫化锰结晶而引起的其次的问题点在于在将轴 111 插入到套筒 112 的轴承孔 112a 中而作为动压流体轴承组装的成品的动作中，时有硫化锰结晶的一部分脱落、动压流体轴承烧熔发生。如参照上述图 10 进行的说明，在区域 132~135 的硫化锰上几乎没有刀具的切削痕，它表示硫化锰结晶被刀具断裂而被除去。即，硫化锰结晶被刀具剧烈地冲撞而产生裂痕
20 （龟裂）并脱落和被除去。假设对于 1 个硫化锰结晶 132，为只产生了残留在低碳钢的区域 137 中的刀具的切削痕的数量的裂痕，通过产生裂痕的碎片的脱落，进行切削加工。因而，存在以下所述的隐患，即，在大的硫化锰结晶的表面存在由于裂痕而变成孤立状态的微小的硫化锰结晶，而且这些在组装完毕后的动作中会有脱落的危险。

根据发明人等的各种试验可知，如果使用这样的套筒 112 制作动压流体轴承装置，则在动作中微小的硫化锰会脱落并进入轴承的间隙，从而导致轴承烧熔的概率极高。在该以往例中使用的 SUM24 材是铁类，所以，出于改进防锈或耐磨损性的目的，有时实施 0.002~0.005mm 左右厚度的无电解镍的镀层。可以通过该镀层某种程度上防止微小的硫化锰结晶的脱落，并减少烧熔的概率，但不能彻底防止。在切削加工含有硫化锰结晶的
30

材料时，存在脱落的可能性的硫化锰结晶因其尺寸也大，所以用薄的镀层是不能在强度上得到充分的防止脱落效果。在上述的以往例中，对在套筒材料上使用所谓 SUM24 的低碳钢类易切削钢的情况进行了说明，但是在铁素体类不锈钢的易切削钢或马氏体类不锈钢的易切削钢情况下，通常也
5 存在硫化锰结晶，因此，产生同样的问题。

其次，对第 2 个问题点进行以下的说明。图 12 表示在如图 8 所示的套筒 112 的轴承孔 112a 的内周面上加工动压产生槽 112b 的方法。在图 12 中，套筒 112 表示为剖面。用于塑性加工动压产生槽 112b 的已知的槽滚轧工具 122 是由杆 123、多个滚轧球 124、和用于固定滚轧球 124 和杆 123
10 的固定器 125 构成。多个滚轧球 124 的对角尺寸 L 被设定为比套筒 112 的轴承孔 112a 的内径只大相当于动压产生槽 112b 的深度的长度。在加工动压产生槽 112b 时，将槽滚轧工具 122 相对于套筒 112 向箭头 A 方向旋转，同时向箭头 Z 方向插入套筒 112 内。由此对动压产生槽 112b 的倾斜部 142a 进行加工。连接在动压产生槽 112b 的顶点的倾斜部 142b，是将槽滚轧工具
15 具 122 以与箭头 A 的方向相反的方向边旋转边进一步向箭头 Z 方向插入而形成的。由该动作产生动压产生槽 112b 的 1 个 V 字形槽。同样，也可以加工第 2 个以后的 V 字形槽。在将槽滚轧工具 122 从套筒 112 拔出时，可以按原来插入时的轨迹拔出，也可以以通过插入时加工的槽的中间部的方法，加工出滚轧球 124 的 2 倍数的动压产生槽 112b。

20 滚轧球 124 在加工动压产生槽 112b 时通常与套筒 112 的轴承孔 112a 的内壁面发生摩擦，因此，不可避免磨损。如果滚轧球 124 磨损，则动压产生槽 112b 的深度变浅，因此，动压流体轴承的性能下降。为了防止磨损，滚轧球 124 的材料是从轴承钢或一般称作超硬的金属材料、陶瓷等特殊材料之中选择最优的材料。但是在套筒 112 的材料为 SUM24 的情况下，
25 槽滚轧工具 122 的滚轧球 124 的寿命是能够加工大约 5000 个套筒 112 的程度。因而，存在动压产生槽 112b 的加工成本高的问题。滚轧球 124 的寿命短的原因是套筒 112 的原材料的硬度高。铁类的易切削钢、铁素体类不锈钢的易切削钢及马氏体类不锈钢的易切削钢通常含有 0.1~0.5% 的碳。该马氏体类不锈钢的易切削钢的 80% 左右是铁。通过这样使铁含有碳，
30 能够变成强度及硬度高的珠光体组织。但是因为硬度高，所以对滚轧球 124

的磨损不利。

发明内容

5 本发明的目的在于提供一种低成本且可靠性高的动压流体轴承装置及使用该装置的主轴电动机。

10 本发明的动压流体轴承装置，具有套筒及能够相对旋转地插入在所述套筒的轴承孔中的轴，并在所述轴的外周面或所述套筒的内周面的至少一个上设置有具有动压产生槽的径向轴承面，在所述轴和所述套筒的轴承孔之间填充了作为工作流体的润滑剂。所述套筒由下述材料制成：从铁类的易切削钢、铁素体类不锈钢的易切削钢及马氏体类不锈钢的易切削钢中选择的至少1种材料，在所述各易切削钢中所含有的易切削元素和含有易切削元素的合金的各结晶的所述套筒的轴承孔的轴方向上的尺寸（长度）为不到0.03mm、且与所述轴方向垂直的方向上的尺寸（宽度）为不到0.005mm。

15 根据本发明可知，通过将含在套筒的材料、即各易切削钢中的易切削元素及含有易切削元素的合金的各个结晶在轴承孔的轴方向上的长度设为不到0.03mm，宽度设为不到0.005mm，可在将套筒的轴承孔的内周面用车床切削时几乎不产生断裂面。因而，可以使切削后的表面的粗糙度（凹凸）变小，得到良好的切削加工面。其结果，不存在因在动压流体轴承的20 动作中易切削元素及易切削合金的结晶脱落而导致使动压流体轴承装置不能旋转之患。

25 本发明的其他的观点的动压流体轴承装置，具有套筒及能够相对旋转地插入在所述套筒的轴承孔中的轴，并在所述轴的外周面或所述套筒的内周面的至少一个上设置有具有动压产生槽的径向轴承面，在所述轴和所述套筒的轴承孔之间填充了工作流体。所述套筒由下述材料制成：从铁类的易切削钢、铁素体类不锈钢的易切削钢及马氏体类不锈钢的易切削钢中选择的至少1种材料，所述各易切削钢的含碳量的重量百分比分别不到0.1%，且由这些材料成形的原材料的硬度的维氏硬度Hv不到230。

30 根据本发明可知，通过将作为套筒的材料材料的各切削钢的含碳量设为不到0.1%，可使由碳引起的维氏硬度Hv为500以上的高硬度的珠光体组织

大幅度减少，从而变得几乎不存在。因而，在套筒的轴承孔上用塑性加工形成动压产生槽的滚轧球的磨损可大幅度降低。

(发明效果)

根据本发明可知，通过缩小含在作为套筒的原材料的、易切削钢、铁素体类不锈钢的易切削钢或马氏体类不锈钢的易切削钢中的易切削元素及其合金的结晶的大小，可减小套筒的轴承孔的表面粗糙度。从而，不需要用于减小表面粗糙度的后加工工序，能够实现低成本化。另外，因为表面粗糙度小，因此，可减少在组装完毕动压流体轴承装置后的动作中容易发生的易切削元素的结晶脱落的危险性，而且能够实现可靠性高的动压流体轴承装置。

另外，通过将含在所述易切削钢、铁素体类不锈钢的易切削钢、马氏体类不锈钢的易切削钢的含碳量设为不到 0.1%，将这些材料的棒材中的维氏硬度设为 Hv230 以下，能够大幅度延长滚轧工具的寿命，因此，能够降低制造成本，且实现低成本的动压流体轴承装置。

15

附图说明

图 1 是本发明的第 1 实施例的具有动压流体轴承装置的主轴电动机的剖面图。

图 2 是本发明的第 1 实施例的套筒的轴承表面的放大照片。

图 3 是表示本发明的第 1 实施例的套筒的轴承孔表面的粗糙度的测定结果的图。

图 4 是表示易切削元素的结晶的长度和作为表面粗糙度的凹凸的尺寸的关系的图表。

图 5 是表示本发明的第 2 实施例的动压产生槽的加工工序的加工装置的侧视图。

图 6 是表示套筒的材料的含碳量和滚轧球的对角尺寸 L 的变化量之间的关系曲线图。

图 7 是表示套筒的轴承孔的表面硬度和对角尺寸 L 的变化量之间的关系曲线图。

图 8 是具有以往的动压流体轴承装置的主轴电动机的剖面图。

30

图 9 是表示温度和油的粘度之间的关系的曲线图。

图 10 是以往例的套筒的轴承孔表面的放大照片。

图 11 是表示以往例的套筒的轴承孔表面的粗糙度的测定结果的图。

图 12 是用于说明以往例的塑性加工动压产生槽的加工装置的侧视图。

5 图中：11、111—轴，12、112—套筒，12a、112a—轴承孔，12b、112b—动压产生槽，12c、132~135—硫化锰结晶，12d、137—低碳钢，12e、140—切削痕，13、113—凸缘，14、114—推力板，17、117—底座，18、118—旋转轮毂，19、119—电动机定子，20、120—旋转磁铁，22、122—槽滚轧工具，23、123—杆，24、124—滚轧球，25、125—固定器。

10

具体实施方式

下面，对本发明的动压流体轴承装置的优选实施例参照图 1 至图 7 进行说明。

（第 1 实施例）

15 对本发明的第 1 实施例的动压流体轴承装置参照图 1 至图 4 进行说明。本发明主要涉及动压流体轴承的套筒的材质。图 1 是除了各要素的符号不同之外，具有与如图 8 所示的所述以往例的动压流体轴承装置实质上相同的结构。在图 1 中，轴 11 可旋转地插入在套筒 12 的轴承孔 12a 中。轴 11 具有一体地构成在图 1 中的下端部的凸缘 13。凸缘 13 被收容在安装在底座 17 上的套筒 12 的阶梯部中，且与推力板 14 相对向并能够旋转。在轴 20 11 上安装有固定了旋转磁铁 20 的旋转轮毂 18，与旋转磁铁 20 相对向的电动机定子 19 被安装在底座 17 上。在套筒 12 的轴承孔 12a 的内周面上设置有动压产生槽 12b。在凸缘 13 的、与套筒 12 的阶梯部对向的面上设置有动压产生槽 13a，在凸缘 13 的、与推力板 14 对向的面上设置有动压产生槽 13b。在包含动压产生槽 12b、13a、13b 的、轴 11 及凸缘 13 和套 25 筒 12 之间的间隙中填充有作为动作流体的油 30。

具有如上所述的结构的动压流体轴承装置的动作与以往例完全相同，但使用图 1 进行说明。在图 1 中，如果对电动机定子 19 通电，则产生旋转磁场，旋转磁铁 20、旋转轮毂 18、轴 11 及凸缘 13 开始旋转。此时， 30 通过动压产生槽 12b、13a、13b 使油 30 产生泵吸压力，轴 11 及凸缘 113

上浮，在推力板 14 及轴承孔 12a 的内周面上以非接触状态旋转。

轴 11 是通过被填满在套筒 12 的轴承孔 12 内的油 30 润滑而旋转。一般，油的粘度，如上述的图 9 的曲线图所示，如果温度降低，则以指数函数增加。轴 11 在旋转时受到的旋转阻力与油粘度成正比，故在低温下，轴 11 的旋转阻力变大，损失力矩增加，从而电动机的消耗电力增加。相反，在高温下，油的粘度降低，旋转阻力减少，但是与油的粘度成正比的动压流体轴承装置的轴承的刚性降低，轴振动（轴 11 在旋转中在轴承孔 12a 内摇动的现象）增加。以套筒 12 的轴承孔 12a 的半径和轴 11 的半径之差所定义的“半径间隙”，在理论上与轴承刚性的 3 次方成反比，且与损失力矩成反比。

在低温下，为了防止伴随油的粘度增加的力矩损失的增大，优选加大半径间隙。另外，在高温下，为了防止伴随油粘度的降低的轴承刚性的降低，优选缩小半径间隙。为了满足这样的条件，希望尽量用线膨胀系数小的材料制造套筒 12，尽量用线膨胀系数大的材料制造轴 11。作为具有适合套筒 12 的线膨胀系数的材料，有铁和其合金、铁素体类不锈钢、马氏体类不锈钢，线膨胀系数在 $10 \times 10^{-6} \sim 12 \times 10^{-6}$ 的范围。另外，作为适合轴 11 的材料，有奥氏体类不锈钢，线膨胀系数是 17×10^{-6} 。在作为套筒 12 的材料列举的 3 种材料中，添加作为易切削元素的铅、硫磺、锰等。进而，也可以向作为易切削合金、即铅和硫磺、在铅和硫磺中添加了碲或硒等的易切削元素的合金。其结果，得到了铁类易切削钢、铁素体类不锈钢的易切削钢及马氏体类不锈钢的易切削钢。

作为本实施例的套筒 12 的材料，在例如铁类易切削钢的情况下，可使用在与 JIS 规格的钢材、即 SUM24 大致相同的组成的材料中添加了重量百分比为 1% 以下的微量的铌的材料。如果添加铌，则铌将均匀分布在铁类易切削钢中，并且生成将该铌抑制到核大小的硫化锰的结晶。可认为对于钛也以相同的形式添加，并可起到相同的作用效果。还有，在铁类易切削钢中添加铌或钛是在本领域中周知的技术。本发明的涉及点在于使用易切削元素或其合金的结晶尺寸小的易切削钢，作为得到这样的易切削钢的手法不只限于添加铌或钛。对这些易切削钢的原材料，为了能够在短时间内加工成套筒 12 的形状，而预先通过冷轧轧制成形为具有比套筒 12 的

最大外径稍大的直径的圆棒。用车床切削加工该圆棒而制作套筒 12。动压产生槽 12b 是在车床的切削加工后形成。

在作为本实施例的动压流体轴承装置的套筒 12 的材料的铁类的易切削钢、铁素体类不锈钢的易切削钢、马氏体类不锈钢的易切削钢中，其特征在于，将易切削元素或其合金的结晶的大小设为比添加了所述铌或钛等以往的结晶小。图 2 所示的照片是在用车床切削加工了本实施例的套筒时的套筒 12 的轴承孔 12a 表面的放大照片，所述本实施例中的套筒，使用的是添加了铌或钛等的碳钢类的易切削钢（SUM 材）。在图 2 中，图的左右方向为轴承孔 12a 的轴方向，箭头 40 的方向为刀具的移动方向。用黑点 12c 表示的横幅长的浓度稍重的区域为硫化锰的结晶。用黑点 12d 表示的浓度低处是成为基体的低碳钢。黑点 12e 是表示刀具的切削痕。在硫化锰的区域 12c，长度大约为 0.01~0.03mm，宽度大约不到 0.005mm。如果将区域 12c 与图 10 所示的以往例中的套筒 112 的轴承孔 112a 的表面放大照片的区域 132 比较，则区域 12c 远小于区域 132。

在图 2 中，轴承孔 12a 的面被在箭头 40 的方向上移动的刀具（省略图示）切削。刀具对作为基体的低碳钢的区域 12d 和作为易切削钢合金的硫化锰的区域 12c 交替进行切削。低碳钢的区域 12d 与硫化锰的区域 12c 相比，强度和韧性高，相反，硫化锰的区域 12c 与低碳钢的区域 12d 相比，强度低且发脆。因而，如果用刀具切削低碳钢的区域 12d，则出现上下方向上延伸的切削痕 12e。根据发明人的仔细的观察可知，在硫化锰的区域 12c 中，存在切削痕 12e 从低碳钢的区域 12d 连续地连接在硫化锰的区域 12c 的地方，而且没有发现如以往例中所观测到的清晰的断裂面的形状。从以上事实可知，在本实施例中，在刀具切削低碳钢的区域、和在断裂硫化锰的区域 12c 时，刀具所受到的各自的阻力的差极小，且刀具的振动也降低。

图 3 是表示将套筒 12 的轴承孔 12a 的内周面的表面粗糙度（凹凸）使用与图 11 中的情况相同的测定器进行测定的结果的图。从图 3 可知，可以将凹凸降低到 0.0005mm 左右。这是如图 10 所示的以往例中的凹凸的大约 1/2。

图 4 是使用易切削元素的结晶的长度不同的 4 种类的材料制造套筒 12

并在切削了轴承孔 12a 的表面时对表面粗糙度进行测定的结果的图表，横轴是易切削元素的结晶的长度，纵轴是表示加工后的表面的粗糙度的凹凸的尺寸。椭圆 A 表示以往例的使用了硫化锰结晶的长度为 70~150 μm 的范围的 SUM 材时的表面粗糙度的分布，并且凹凸的尺寸在 0.7 μm 到 1.3 μm 的范围。同样，椭圆 B 表示使用经过规定的热处理将硫化锰结晶的长度设为 50 μm 左右的相当于 SUM 材时的表面粗糙度的分布，而且凹凸的尺寸是在 0.7 μm 左右。椭圆 C 是表示使用了本实施例的套筒 12 的材料，即，易切削元素的结晶的长度为 20 μm 左右的相当于 SUM 材时的表面粗糙度，而且凹凸的尺寸在 0.4 μm 到 0.6 μm 范围内。另外，椭圆 D 是表示使用了只含有铅而不含有硫化锰且易切削元素的长度为 3 μm 左右的铅易切削钢时的表面粗糙度。各椭圆的大小表示易切削元素或合金的结晶的大小的不均匀度的范围以及表面粗糙度的不均匀度的范围。从图 4 可知，无论易切削元素的种类如何，只要将易切削元素或其合金的结晶的长度设为不到 30 μm ，则表示表面粗糙度的凹凸可为 0.6 μm 以下，能够得到良好的切削加工面。由此，不需要在切削加工后改进粗糙度的工序，并能够减少套筒 12 的加工成本。

其次，对伴随作为动压流体轴承组装完毕后的动作中产生的、硫化锰结晶 12c 的脱落而动压流体轴承的烧熔进行说明。在本实施例的套筒 12 中，从图 2 可知，硫化锰结晶 12c 的宽度（图的上下方向的尺寸）只有 0.005mm 左右。在该宽度的硫化锰的结晶 12c 中，其两侧被低碳钢的结晶 12d 稳定地支撑着。从而，在切削加工中难以出现因施加刀具的冲击而产生的裂痕，大幅度降低了硫化锰结晶 12c 脱落的概率。即使硫化锰结晶 12c 万一脱落，其大小比半径间隙 0.02~0.03mm 大的概率也小。

根据发明人进行的各种实验可知，如果使用硫化锰结晶 12c 的长度为不到 0.03mm、宽度不到 0.005mm 的原材料，则轴承的烧熔的概率为以往的材料时的 1/10 以下。进而，如果实施目的在于提高防锈或耐磨损性的无电解镍镀层，当然则能够进一步有效地抑制硫化锰结晶 12c 的脱落。在本实施例中，对在各种易切削元素或其合金中，其结晶的大小为最大的硫化锰结晶 12c 进行了说明，但是即使使用了其他的易切削元素或其合金的易切削钢也能够得到相同的效果。除了上述说明中使用的铁类易切削钢以

外，在马氏体类不锈钢的易切削钢或铁素体类不锈钢的易切削钢中一般也含有硫化锰类的合金，因此，能够得到与本实施例相同的效果。

从以上的说明明显可知，根据本发明，在作为套筒的原材料使用铁类的易切削钢或铁素体类不锈钢的易切削钢或马氏体类不锈钢的易切削钢等时，使用将易切削元素及其合金的结晶的长度设为 0.03mm 以下、宽度设为不到 0.005mm 的材料，以此，能够低成本实现可靠性高的动压流体轴承装置。

（第 2 实施例）

对本发明的第 2 实施例的动压流体轴承装置参照从图 5 到图 7 进行说明。第 2 实施例涉及套筒 12 的材料，尤其涉及材料的硬度。

在所述第 1 实施例的套筒 12 的轴承孔 12a 的内周面上形成动压产生槽 12b 的工序，是通过使用具有与“背景技术”中说明的图 12 所示的装置实质上相同的构成的图 5 中所示的装置进行。在图 5 中，用于塑性加工动压产生槽 12b 的已知的滚轧工具 22 是由杆 23、多个滚轧球 24、和将滚轧球 24 支持在杆 23 的固定器 25 构成。多个滚轧球 24 的对角尺寸 L 被设定为比套筒 12 的轴承孔 12a 的内径只大了相当于动压产生槽 12b 的深度的长度。在加工动压产生槽 12b 时，将滚轧工具 22 相对套筒 12 向箭头 A 方向边旋转边向箭头 Z 方向移动而插入到轴承孔 12a 中。由此加工动压产生槽 12b 的倾斜部 42a。把压产生槽 12b 的顶点夹在中间的倾斜部 42b，是通过将滚轧工具 22 向箭头 A 相反的方向边旋转边向箭头 Z 方向插入而形成的。通过该动作，形成动压产生槽 12b 的 1 个 V 字形槽。同样，能够加工第 2 个以后的多个 V 字形槽。在将滚轧工具 22 从套筒 12 中拔出时，可按插入时的轨迹拔出，也可以通过插入时加工的槽的中间部，由此加工滚轧球 24 的 2 倍数的动压产生槽 12b。

滚轧球 24，在加工动压产生槽 12b 时总与套筒 12 的轴承孔 12a 的内周面发生摩擦，因此，不可避免磨损。如果滚轧球 24 磨损，则动压产生槽 12b 的深度变浅，因此动压流体轴承的性能下降。为了防止磨损，滚轧球 24 的材料是从轴承钢或超硬、陶瓷等特殊材料中选定最优之物。在本实施例中，为了防止滚轧球 24 的磨损而将套筒 12 进可能由柔软的材料构成。

铁类的易切削钢、铁素体类不锈钢的易切削钢及马氏体类不锈钢的易切削钢，如果将其含碳量的重量百分比设为不到 0.1%，则变软，并大幅度降低由碳引起的珠光体组织，或几乎不存在。因为维氏硬度 Hv 为 500 以上的珠光体组织不存在，因此，大幅度降低了滚轧球 24 的磨损。本发
5 明人使用了 3 种材料，即，以往例中所示的大约含碳 0.14% 的 SUM 材料（材料 1）、大约含碳 0.1% 的相当于 SUM 的材料（材料 2）及含碳 0.02% 的纯铁类易切削钢（材料 3），分别制造套筒 12，并对所制造的套筒 12，使用如图 5 所示的滚轧工具 22 分别加工 10000 个的套筒 12 的槽进行了试验。

10 图 6 是表示对加工了 10000 个的套筒 12 的槽之后的滚轧球 24 的对角尺寸 L 的变化量进行了测定的结果。图 6 中的横轴是含碳量，黑点 A 是材料 1，黑点 B 是材料 2，黑点 C 是材料 3。从图 6 可知，含碳量越低对角尺寸 L 的变化量越小，且滚轧 24 的磨损越小。如果将含碳量设为不到 0.1%，则可以确认对角尺寸 L 的变化量为 $1.5\ \mu\text{m}$ 以下，滚轧球 24 实际上具有足够的寿命。作为套筒 12 的材料的铁类的易切削钢、铁素体类不锈钢的易切削钢及马氏体类不锈钢的易切削钢的原材料，是为了能够在短时间内加工套筒 12 的形状，预先通过冷轧轧制加工，加工成具有比套筒 12 的最大外径稍大的直径的圆棒。由于该冷轧轧制加工，原材料自身引起加工
15 硬化。例如，纯铁的维氏硬度 Hv 是 100 左右，但是如果对这些材料进行冷轧轧制，则维氏硬度变为 Hv200~Hv300 左右。经对用所述材料 1、材料 2、材料 3 的 3 种材料制造的套筒 12 的轴承孔 12a 表面的硬度的测定，维氏硬度 Hv 分别为 280、230、200。

20 图 7 是表示轴承孔 12a 的表面的维氏硬度 Hv 和对角尺寸 L 的变化量之间的关系的曲线图。黑点 A 表示的是材料 1，黑点 B 表示的是材料 2，黑点 C 表示的是材料 3。从图 7 可知，如果轴承孔 12a 的表面硬度低，则
25 对角尺寸 L 的变化量也小，滚轧球 24 的磨损量也小。从图 7 可知，如果将含碳量为不到 0.1% 的材料成形为圆棒形状，并用维氏硬度 Hv 为 230 以下的原材料制造套筒 12，则能够抑制加工轴承孔 12a 的动压产生槽时滚轧球 24（图 5）的磨损，并能够使加工 10000 个套筒 12 的槽之后的所述对
30 角尺寸 L 的减少在 $1.5\ \mu\text{m}$ 以下。即，与以往例中的使用含碳量为 0.14%、

维氏硬度为 Hv280 的 SUM24 材（材料 1）的情况相比，能够将滚轧球 24 的寿命延长 2 倍以上。

根据如上所述的本实施例可知，将铁类的易切削钢或铁素体类不锈钢的易切削钢、马氏体类不锈钢的易切削钢的含碳量设为不到 0.1%，且将
5 用这些材料制作的圆棒形状的套筒 12 的原材料的维氏硬度设为 Hv230 以下，能够降低动压产生槽的加工费，甚至实现低成本的动压流体轴承装置。

（产业上的可利用性）

本发明的动压流体轴承装置具有高度可靠性和低成本，可以利用在需要高度可靠性的装置上。

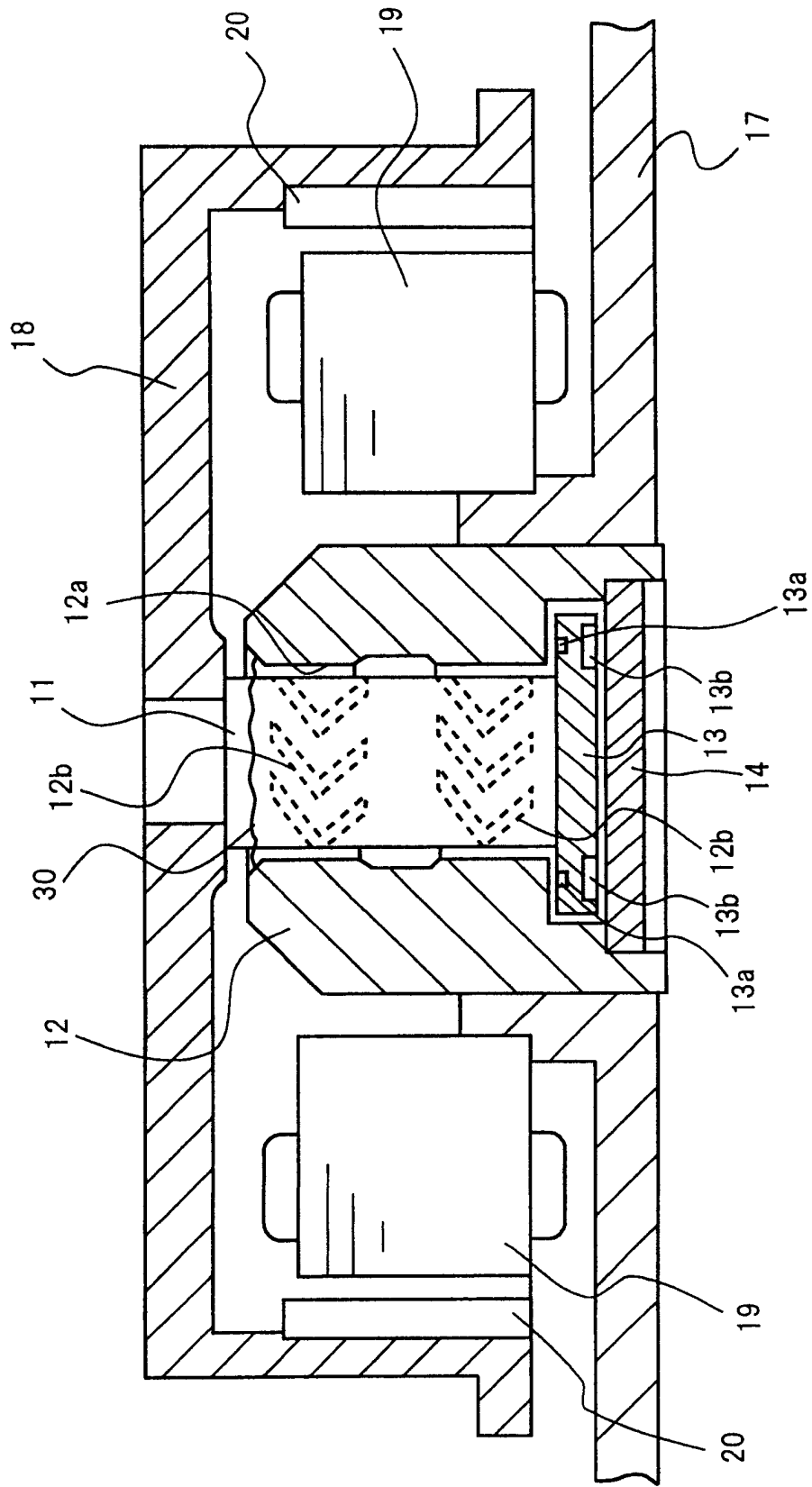


图 1

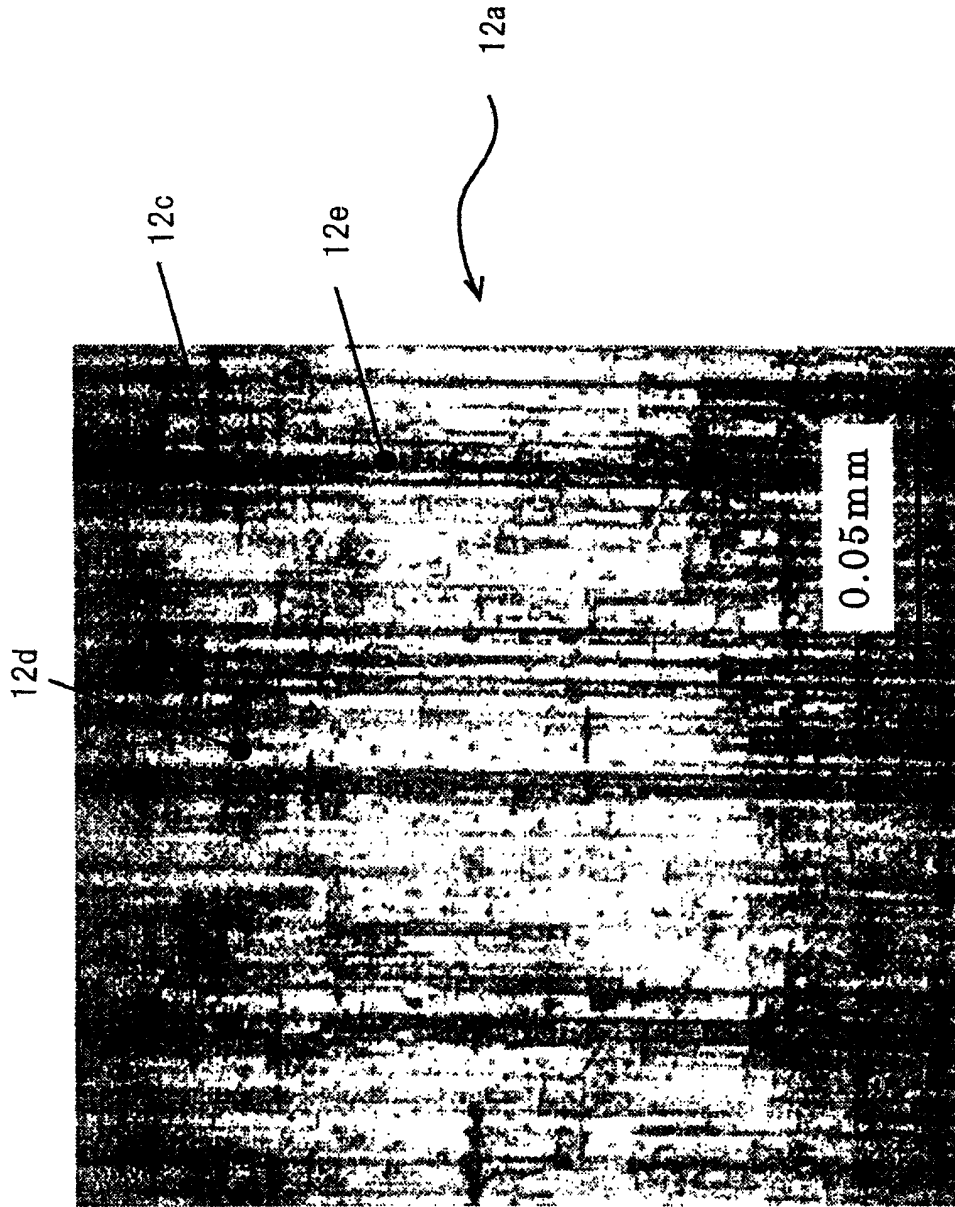
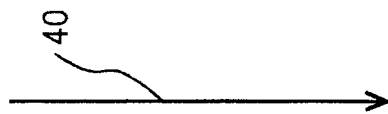


图 2



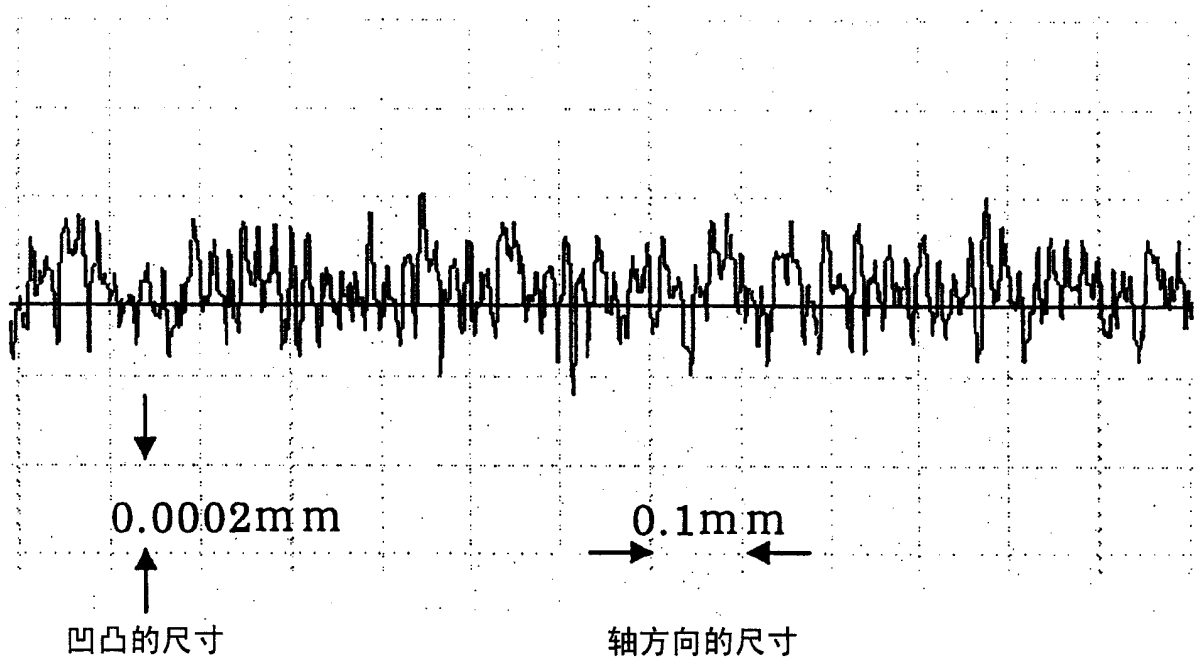


图 3

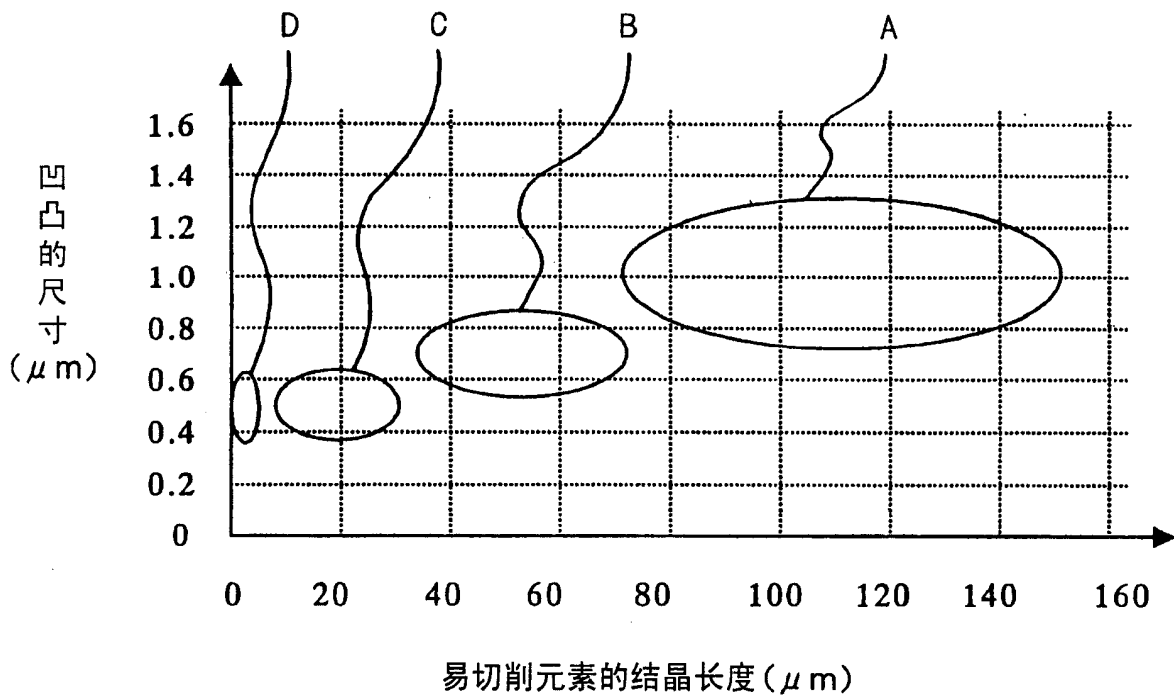


图 4

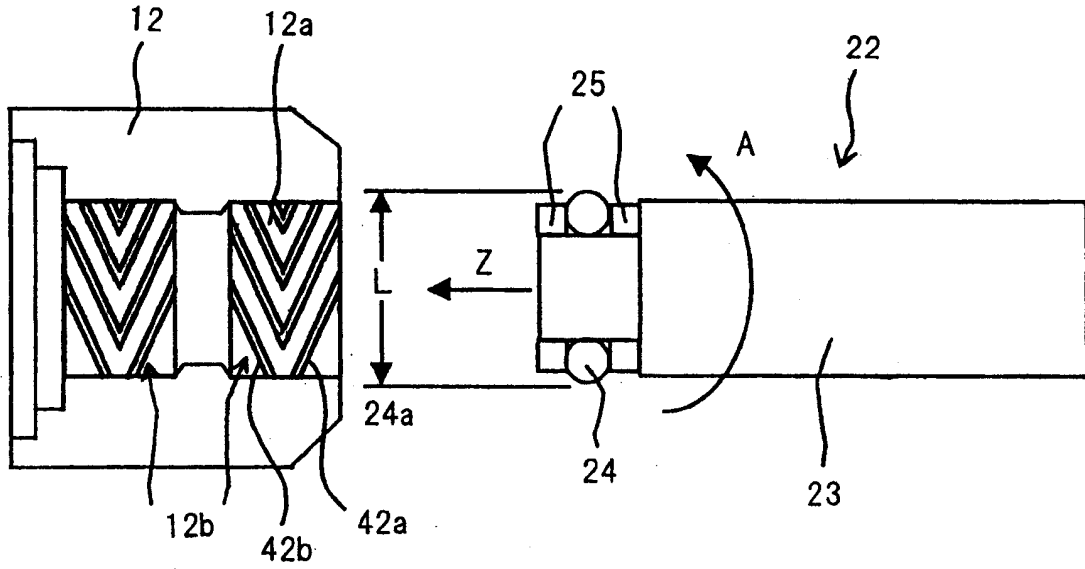


图 5

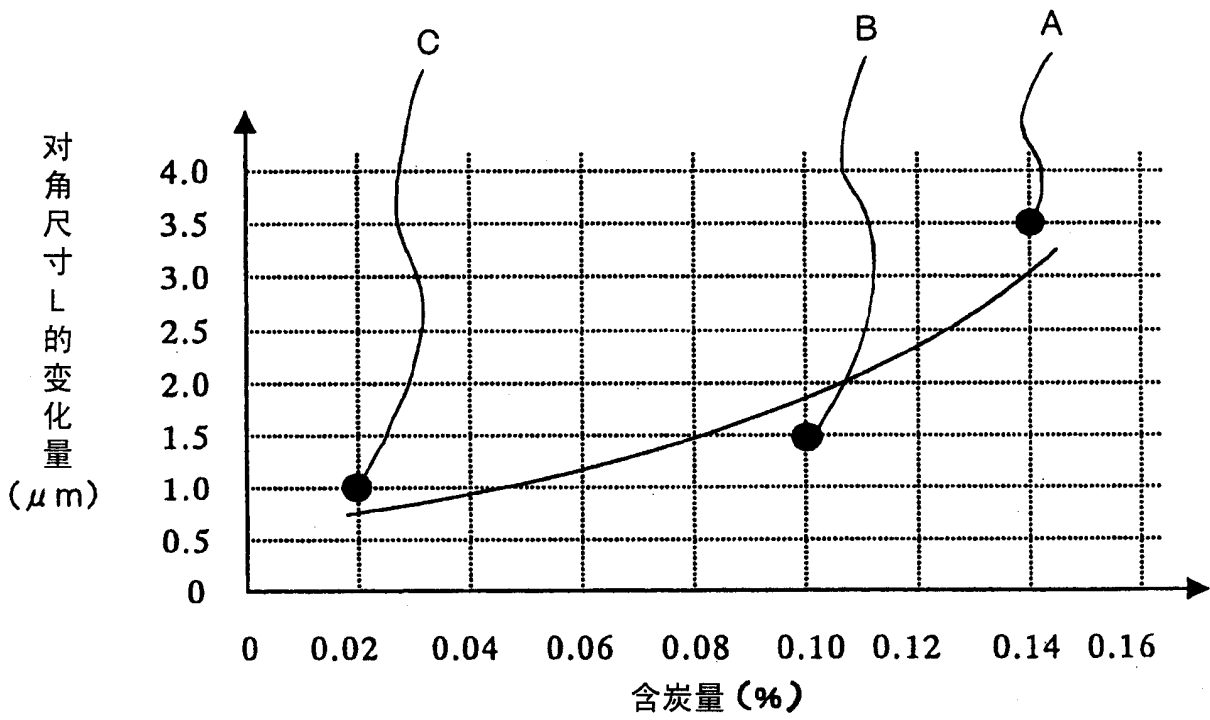


图 6

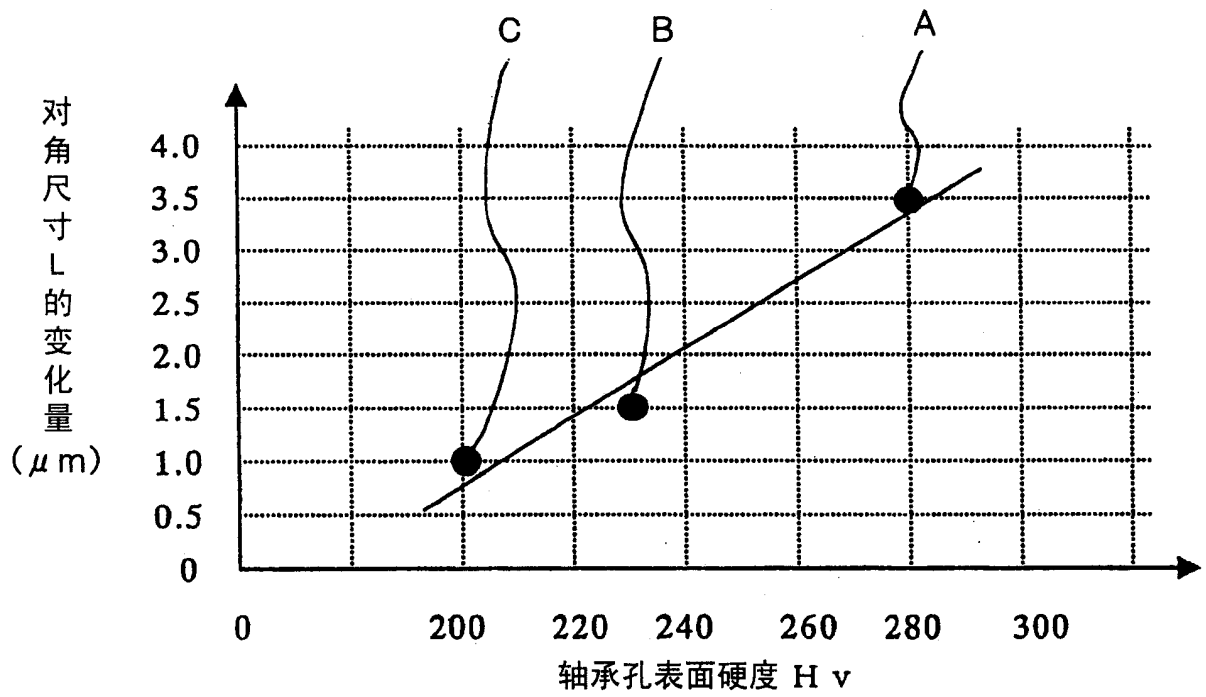


图 7

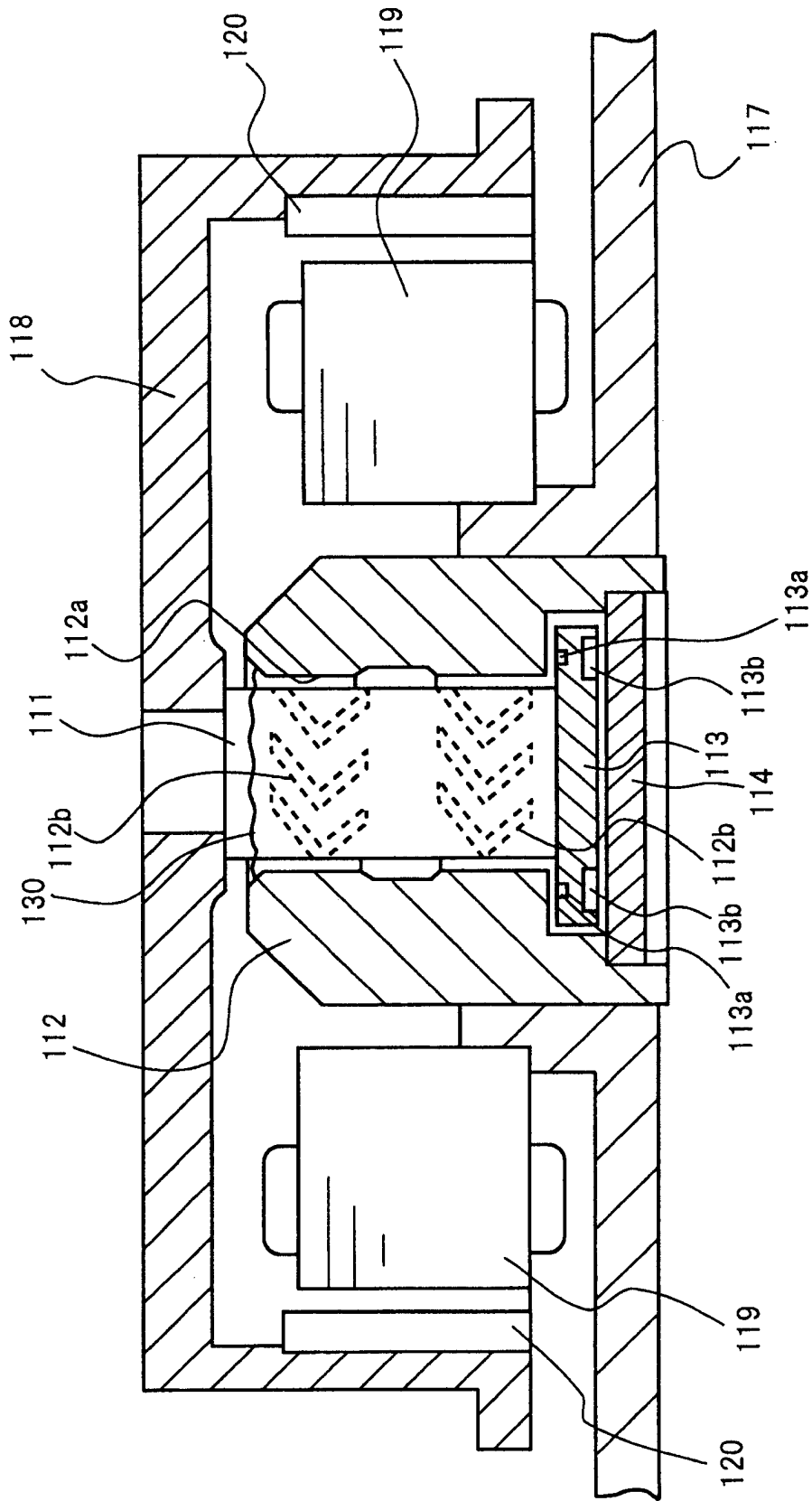


图 8

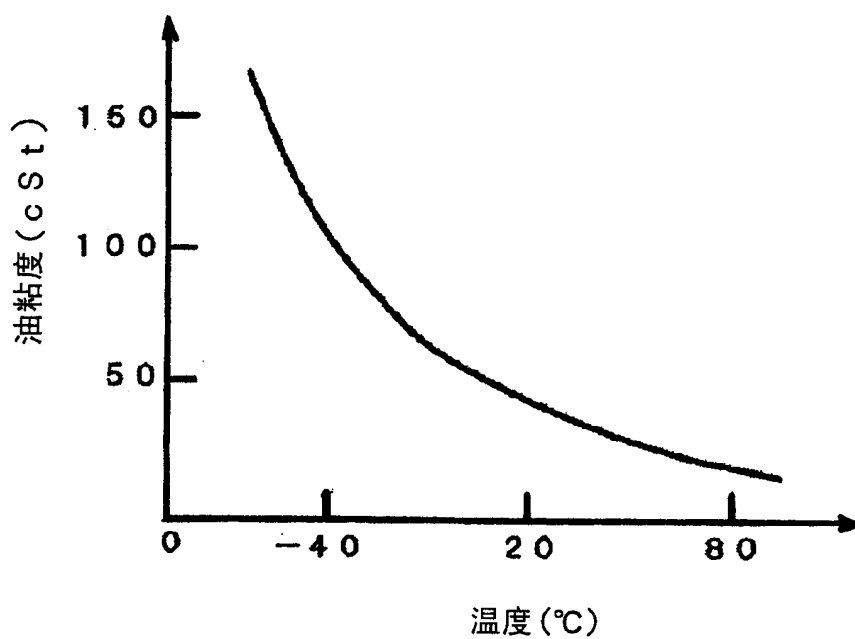


图 9

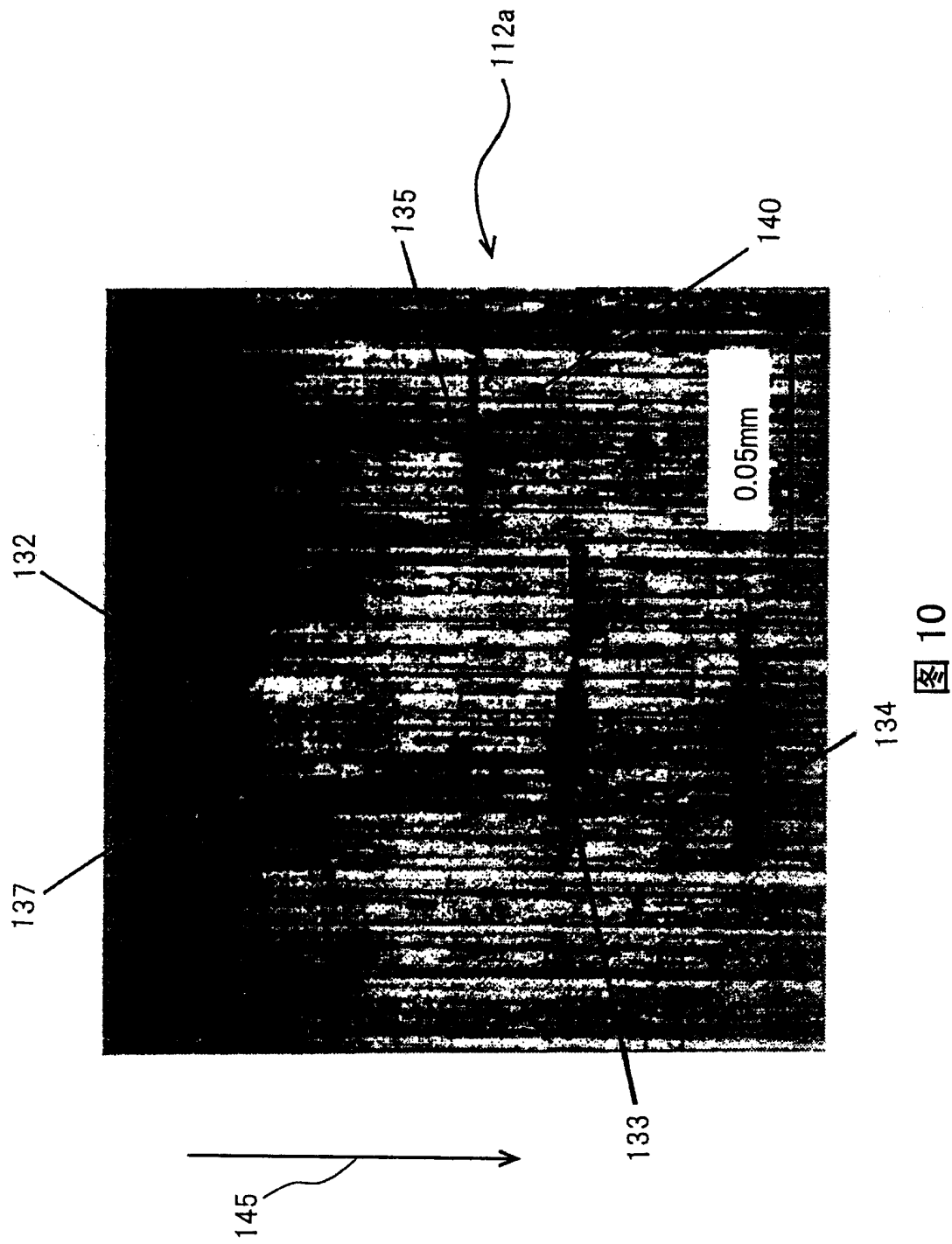


图 10

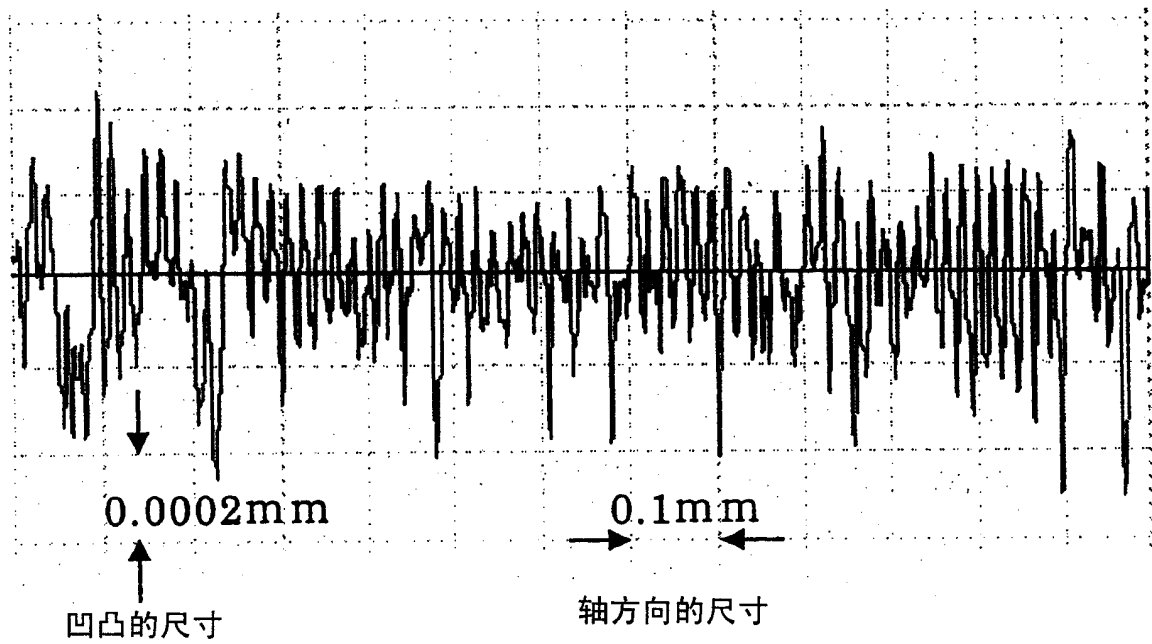


图 11

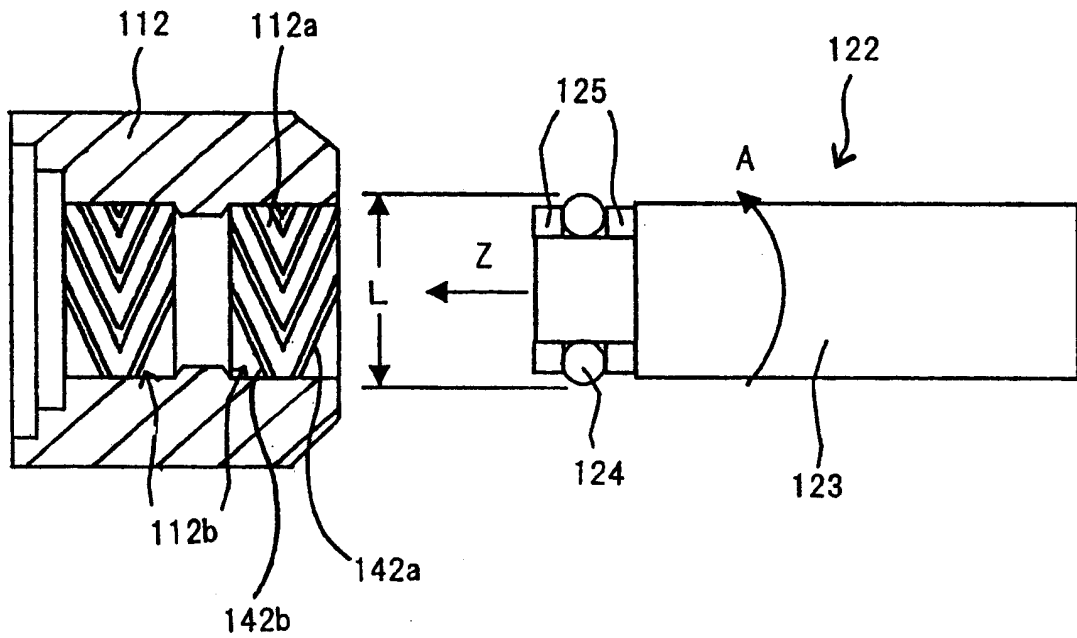


图 12